Beiträge zur Kenntnis der Zusammensetzung der im Ackerboden befindlichen Luft.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

hen philosophischen Fakultät der Universität Rostock

vorgelegt

von

Erich Lau

aus Kossakau in Westpreussen.

Rostock

Carl Hinstorffs Buchdruckerei

1906.

Referent:

Herr Geheimer Ökonomierat Professer Dr. **R. Heinrich**, Rostock.

Meinen lieben Eltern

in Dankbarkeit

gewidmet.

Inhaltsverzeichnis.



I.

Zu den Hauptfaktoren, um die im Boden vorhandenen Nährstoffe zu einem gedeihlichen Nahrungsmittel der Pflanzen zu verwandeln und letzteren eine gute Entwickelung zu sichern, gehört die Luft.

Die ersten Untersuchungen auf diesem Gebiete sind von Boussingault und Léwy[1] angestellt. Er fand, dass der Gehalt der Bodenluft an Kohlensäure bedeutend den der atmosphärischen übersteige und durch Düngung, Bodenart und Jahreszeit beeinflusst würde. Max v. Pettenkofer's[2] Untersuchungen der Grundluft im Geröllboden von München in verschiedenen Tiefen und zu verschiedenen Zeiten zeigten, dass der Kohlensäuregehalt mit der Tiefe (1 ½ und 4 Meter) zunehme und das Minimum in den Winter, das Maximum in den Sommer fiele.

Dasselbe Resultat erhielt Fodor[3] in Klausenburg, wo er die Grundluft auf dem Hofe des Uni-

---

1) Boussingault et Léwy, Mémoire sur la composition de l'air confiné dans la terre végétale; Ann. de Chemie et de Physique III. série, tome XXXVII p. 1—50, deutsch bearbeitet von Dr. M. Graeger.

2) Zeitschrift für Biologie IV, 1873 pag. 250.

3) Deutsche Vierteljahrsschrift für öffentliche Gesundheitspflege, Bd. 7.

versitätsgebäudes, im Universitätskeller, im Hofe des Karolinaspitales und an einer Berglehne oberhalb der Stadt analysierte. Derselbe Verfasser fand aber auch Schwankungen in ein und derselben Tiefe, was er nach Vergleich mit den meteorologischen Beobachtungen auf Fallen und Steigen des Barometers und die aspirierende Wirkung der Winde zurückführte. Die Sauerstoffbestimmungen ergaben durchschnittlich einen Gehalt von 18,33 % Vol., woraus er schloss, dass die vermehrte Kohlensäuremenge von dem Oxydationsprozesse der organischen Substanz stamme. Im dichten Boden war die Luft kohlensäurereicher als im lockeren, weil letzterer durchlässiger ist. Dr. J. Möller's[1] im Laboratorium festgestellte Daten ergaben, dass die Luft in rein mineralischem Boden nicht viel reicher an Kohlensäure als die der Atmosphäre sei, dass der Kohlensäuregehalt durch die Durchlässigkeit der Bodenschichten in hohem Grade alteriert, bei Zuführung organischer Substanzen beträchtlich erhöht, durch Zufuhr von Sauerstoff aus der atmosphärischen Luft und durch Feuchtigkeit beeinflusst würde. Interessant sind Professor Dr. Ebermayer's[2] Analysenergebnisse. Sie zeigen, dass bewaldeter Boden im Sommer weit ärmer an Kohlensäure sei als unbewaldeter, obwohl die Waldluft fast noch einmal so reich an Kohlensäure als die freie atmosphärische

1) Mitteilungen aus dem forstlichen Versuchswesen Österreichs 1878, Heft 2 S. 121–148.

2) Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik 1878 Bd. I pag. 158–161 und Bd. 13 pag. 15–49.

Luft ist und dass mit Erhöhung der Temperatur der Kohlensäuregehalt im Ackerfelde weit stärker als im Waldboden zunehme.

In einer im nächsten Jahre veröffentlichten Arbeit weist J. Möller[1] nach, dass Kalkboden an Kohlensäure am reichsten sei, dann folge Tonboden, Wiesengrund und zuletzt Sandboden.

Bei seinen Untersuchungen über den Einfluss der Bodendecke auf den Kohlensäuregehalt der Bodenluft in einer Tiefe von einem halben Meter kommt er in zwei diesbezüglichen Untersuchungen zu vollständig sich widersprechenden Resultaten. Einmal findet er im bepflanzten Boden mehr Kohlensäure als im brachliegenden, bei der nächsten Versuchsreihe stellt sich das Gegenteil heraus.

Einen Einfluss des Luftdruckes, der Temperatur der Luft und des Bodens kann er jedoch nicht konstatieren, obwohl er solche Beziehungen für wahrscheinlich hält.

Über die Frage, welchen Einfluss Pflanzendecken (Gras, Strohdecke) und Beschattung auf den Kohlensäuregehalt der Bodenluft ausüben, geben Untersuchungen von Wollny[2] Aufschluss. Danach enthält der mit Gras beschattete Boden in der wärmeren Jahreszeit geringere Mengen von Kohlensäure als der brachliegende; in der kälteren Jahreszeit verhält es sich gerade umgekehrt.

Je dichter die Pflanzen stehen, desto ärmer ist

1) ebenda Bd. 2 pag. 329—338.

2) Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik 1880, Bd. III 1—14 u. Bd. IX 184—190.

die Bodenluft an Kohlensäure, weil dadurch die Beschattung und die Wasserentnahme grösser, während die Bodentemperatur geringer wird. Wollny folgert hieraus die günstige Einwirkung der Brache auf die Fruchtbarkeit des Bodens. Die Verwitterung der Erde vollziehe sich eben im wärmeren kohlensäurereicheren Boden schneller. Zu bemerken ist hier, dass die Versuche in Zinkblechgefässen ausgeführt und die Luftproben unterhalb der Wurzelschicht der Pflanzen entnommen wurden.

C. Salger[1] hat Bodenuntersuchungen mit besonderer Berücksichtigung des Einflusses der Ventilation ausgeführt. Er entnahm die Luft hierfür $1^1/_2$ und 3 Meter tief in der Nähe einer Versitzgrube und an einem Promenadenwege des Schlossgartens.

Die Resultate lassen sich kurz, wie folgt, zusammenstellen: 1. die Menge der Kohlensäure ist an verschiedenen Orten verschieden; 2. die tiefer gelegenen Bodenstellen sind reicher an Kohlensäure als die oberflächlichen; 3. die wichtigste Ursache für die Kohlensäure-Entwickelung ist die Zersetzung organischer Stoffe, speziell der kohlenstoffhaltigen Verbindungen, so dass die Menge der Kohlensäure im Verhältnisse zur Verunreinigung des Bodens steht; 4. die Bodenfeuchtigkeit spielt immer eine Rolle bei der Menge der Kohlensäure; 5. der Kohlensäuregehalt wird durch Ventilation vermindert und zwar ist der Ventilationseffekt in den tieferen Schichten verschwindend klein, während er in den höheren Schichten ziemlich ergiebig ist; 6. die zuerst aspi-

1) Inaugural-Dissertation. Erlangen 1880.

rierten Luftportionen enthielten bedeutend grössere Mengen von Kohlensäure, als die später durchgesaugten.

Mit dem Ergebnisse, dass die tiefer gelegenen Bodenschichten und die an organischen Substanzen reicheren Böden grössere Kohlensäuremengen enthalten, hat er die Daten von anderen Forschern, wie Fleck,[1] W. M. Riplei Nichols[2] und der bereits genannten v. Pettenkofer,[3] v. Fodor[4] und Wollny[5] bestätigt. Ferner wies v. Fodor[6] nach, dass die Bildung der Kohlensäure durch den Lebensprozess niederer Organismen bedingt wäre, dass Sandboden auf die Zersetzung der organischen Substanzen günstiger wirke als Lehmboden und die Verwesung mit der Feuchtigkeit zunähme.

Wollny[7] hat sich in einer grösseren Reihe von Versuchen mit der Frage beschäftigt, welchen Einfluss die physikalischen Eigenschaften des Bodens auf dessen Gehalt an freier Kohlensäure haben und kommt zu folgenden Resultaten:

---

1) Zeitschrift f. Biologie. Bd. IX.

2) Annal. Report of the Mass. State Board of Health. Boston 1875.

3) Zeitschrift f. Biologie, Bd. VII u. IX.

4) Deutsche Vierteljahresschrift für öffentl. Gesundheitspflege, Bd. VII.

5) Landw. Versuchsstationen, Bd. XXV, pag. 373—391 und Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik, 1886, Bd. IX, pag. 181.

6) Hygienische Untersuchungen über Luft, Boden und Wasser, Braunschweig 1882, Vieweg & Sohn.

7) Forsch. auf dem Gebiete der Agrikulturphysik, 1881, Bd. IV, pag. 1–24.

Der Kohlensäuregehalt der Bodenluft unter gleichen äusseren Verhältnissen steigt und fällt mit der Temperatur, eine Beziehung, welche ja Möller für wahrscheinlich hält, jedoch aus seinen Analysenergebnissen nicht dartun kann. Der Kohlensäuregehalt ist um so grösser, je mehr Wasser der Boden enthält, indessen nur dann giltig, wenn der Zutritt der Luft durch das die Poren erfüllende Wasser keine wesentliche Einschränkung erleidet.

Der Kohlensäuregehalt nimmt mit der Feinheit der Bodenpartikel zu.

Der Boden ist in krümeligem Zustande bedeutend ärmer an freier Kohlensäure als im pulverförmigen.

Der Kohlensäuregehalt ist im dichten Boden beträchtlich grösser als im lockeren.

Zu erwähnen ist hier, dass die Untersuchungen in besonders konstruierten Apparaten ausgeführt wurden.

G. E. Bentzen[1] vertritt in einer Abhandlung, „Die Kohlensäure in der Grundluft", den Standpunkt, dass die Zersetzungsvorgänge im Boden in dem Kohlensäuregehalt der Grundluft nicht zum Ausdruck kommen.

Im Jahre 1886 hat Wollny[2] seinen letzten Resultaten weitere hinzugefügt:

Der Kohlensäuregehalt der Bodenluft ist bei einer bestimmten Neigung des Terrains (20°) am

---

1) Zeitschrift f. Biologie. Bd. XVIII, 1882. S. 446 - 457.

2) Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik, 1886, Bd. IX, S. 165–193; 1889, Bd. XII, S. 396; 1890, Bd. XIII, S. 231–237.

grössten, während er bei flacherer oder steilerer Lage abnimmt.

Er führt diese Erscheinung auf Temperatur und Feuchtigkeitsverhältnisse zurück. Bei einer Neigung von 20° fiindet das günstigste Zusammenwirken von Feuchtigkeit und Wärme statt.

Die Bodenluft der nach Süden gelegenen Hänge ist am reichsten, die der Nordhänge am ärmsten an Kohlensäure, während die der Ost- und Westseiten in der Mitte steht. Der Kohlensäuregehalt der Bodenluft ist in dunkel gefärbten Böden grösser als in den hellen, gesetzt, dass beide gleich feucht sind.

Die Kohlensäure tritt in um so grösseren Mengen in die Atmosphäre über, je grobkörniger der Boden ist.

Die Kohlensäure vermag sich in höher wie tiefer gelegenen Schichten des Erdreiches zu verbreiten. Das Eindringen in tiefere ist um so mehr erschwert, je feinkörniger dieselben sind. Beim Emporsteigen des Gases werden die feinkörnigsten am meisten bereichert.

Zum Schlusse vertritt er auch den Standpunkt Bentzen's. Im scharfen Gegensatz zu dieser Ansicht steht Ebermayer[1]. Er gesteht zu, dass die chemische Tätigkeit des Bodens zwar durch die gemeinsame Wirkung von Wärme, Luft und Feuchtigkeit veranlasst wird und mit zunehmender Temperatur und Feuchtigkeit steigt, dass aber auf den Grad der Tätigkeit auch der Gehalt an Humus und die schnellere und langsamere Verwesung des-

---

1) Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik 1890 Bd. XIII pag. 15—49.

selben den grössten Einfluss hat. Er hält somit den grösseren oder geringeren Kohlensäuregehalt der Bodenluft für geeignet zur Beurteilung der Bodentätigkeit und Bodenfruchtbarkeit — mit Ausnahme der Moor- und Torfböden, die zwar sehr kohlensäurereich, aber arm an mineralischen Nährsalzen sind — und für ein gutes Mittel zur naturwissenschaftlichen Bonitierung der Kulturböden. Die Untersuchungen der Bodenluft von R. Kissling und M. Fleischer[1], ebenso die von Th. Schlösing[2] fügen dem Gesagten nichts Neues hinzu.

Letzterer weist darauf hin, dass es notwendig ist, unter unseren Begriffen von der Atmosphäre des Bodens den der Beweglichkeit einzuführen, an Stelle der Vorstellung der Ruhe, welche der gewöhnlich gebrauchte Ausdruck „eingeschlossene Luft" in sich begreift.

Hier dürfte die Erwähnung zweier diesbezüglicher Versuche von Dr. Dammann[3] und v. Pettenkofer[4] am Platze sein.

Dammann verband eine Glasröhre, welche bis zum Boden eines mit Kies angefüllten hohen Glasgefässes reichte, mit einem mit gefärbter Flüssigkeit versehenen Manometer. Blies er nun mit dem Munde auf die Oberfläche des Kieses, so wurde zuerst die Luft in den Poren des Kieses in Bewegung gesetzt.

1) Landw. Jahrbücher Bd. XX 1891 S. 876—889.

2) Comptes rendus I CIX S. 618 und 673.

3) Dr. Dammann: Die Gesundheitspflege der landwirtschaftlichen Haussäugetiere 1892, pag. 205.

4) Beziehungen der Luft zu Kleid., Wohn. und Boden. 1872 pag. 83.

Die Bewegung pflanzte sich weiter fort und teilte sich schliesslich auch der Flüssigkeit im Manometer mit.

Eine gleiche Wirkung schreibt Dr. Dammann den Stössen des Windes auf die Erdoberfläche zu.

v. Pettenkofer schloss einen Kanarienvogel in einen Cylinder ein, der unten und oben mit einer Kiesschicht verschlossen war. Der Vogel blieb tagelang munter und wohl, wodurch bewiesen war, dass durch die Kiesschichten der durch die Atmung des Vogels aufgebrauchte Sauerstoff aus der äusseren Atmosphäre regeneriert wurde. Hannén[1] folgert aus seinen Ergebnissen der „Untersuchungen über den Einfluss der physikalischen Beschaffenheit des Bodens auf die Diffusion der Kohlensäure": 1. Für die Diffusion der Kohlensäure (resp. der Gase) aus dem Boden, unter sonst gleichen Umständen, ist vor allem das Porenvolumen und nicht die Grösse der Poren massgebend; 2. je mächtiger die Bodenschicht ist, je mehr nimmt die diffundierte Gasmenge ab; 3. die Diffusion der Kohlensäure vermindert sich mit zunehmendem Wassergehalte stetig; 4. die Diffusion der Kohlensäure aus dem feinkörnigen Boden wird, sobald von oben her eine Durchfeuchtung der Aussenschichten erfolgt, beträchtlich herabgedrückt.

Soweit die in der Literatur verzeichneten Arbeiten mit ihren Autoren und Resultaten.

---

1) Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik 1892, Bd. XV S. 6—25.

II.

Verfasser hatte es sich in erster Linie zur Aufgabe gemacht, die Bodenluft auf Kohlensäure und Sauerstoff in der Wurzelregion verschiedener Kulturpflanzen zu untersuchen, um eventuell den Nachweis zu erbringen, dass ihre verschiedene Atmungsintensität auf die Zusammensetzung der Bodenluft einen Einfluss ausübe.

Ausserdem analysierte er ein ganzes Jahr hindurch die Luft aus einem Sand-, Lehm- und Moorboden aus verschiedenen Tiefen.

Es bot sich ihm hier in der Landwirtschaftlichen Versuchsstation zu Rostock die günstige Gelegenheit, diese drei Bodenarten in nächster Nähe zur Verfügung zu haben.

Die Arbeit zerfällt also in einen allgemeinen Teil „Untersuchung der Bodenluft auf Kohlensäure und Sauerstoff aus drei Bodenarten, in drei verschiedenen Tiefen“ und einen speziellen Teil „Untersuchung der Bodenluft auf Kohlensäure und Sauerstoff aus der Wurzelregion verschiedener Kulturpflanzen“.

a. Charakterisierung der Versuchsböden.

Über die Böden, aus denen die Luft geschöpft wurde, ist betreffs ihrer Beschaffenheit, Lage, Bearbeitung, Düngung und Bepflanzung folgendes zu sagen:

Die beiden Parzellenreihen C und D, welche in den aufgestellten Analysentabellen B und C mit „nie mit Stalldünger gedüngter“ und „stets mit Stalldünger gedüngter“ Sandboden bezeichnet sind, dienen seit der Gründung der Versuchsstation als Versuchsparzellenreihen.

Sie bestehen mehrere Meter tief aus leichtem Sande, sind nach Süden durch Laubgebüsch, nach Westen durch eine Allee geschützt und nach Osten schwach geneigt.

Im Frühjahr waren sie gleichzeitig ungefähr 25 Zentimeter tief gepflügt und korrespondierend mit denselben Pflanzen, wie sie in den Tabellen angegeben sind, besät resp. bepflanzt.

Der Unterschied zwischen beiden Parzellenreihen besteht darin, dass die eine — C — nie mit Stalldung oder einem anderen organischen Dünger gedüngt ist, dementsprechend, mit Ausnahme der Lupinenparzelle, sehr spärlich mit Pflanzen bestanden ist, während der anderen Parzelle — D — in einer bestimmten Reihenfolge Stalldünger gegeben wird. Im Versuchsjahre 1904 hatten die beiden Kartoffelparzellen Stalldung bekommen.

Zu bemerken ist, dass beiden Parzellenreihen kein Kalk gegeben war.

Als Vergleichsparzellen dienten die mit Seradella besäten, weil auf ihnen die Saat sehr spärlich auflief. Die Stelle, aus der die Luft gesogen, wurde von Pflanzen freigehalten.

Die Entwicklungsphasen der einzelnen Pflanzen sind in den Tabellen unter der Rubrik „Bemerkungen" verzeichnet.

Der Lehm- und Moorboden war bis zu einer Tiefe von einem Meter gleichmässig zusammengesetzt, von allen Seiten durch Bäume geschützt, ungefähr 25 Zentimeter tief im Frühjahre umgegraben, im vergangenen Frühling mit Schweinedung gedüngt, und die Stelle, aus der die Luft in 15, 30 und 60 Zentimeter Tiefe entnommen wurde, in einem Umkreise von $1^1/_2$ Meter unbepflanzt.

Als Sandboden wurde der oben erwähnte gedüngte Vergleichsrücken verwandt.

b) Beschreibung der zur Entnahme und Untersuchung der Bodenluft angewandten Methode und des Apparates.

Die Entnahme der Luft aus dem Boden und ihre Untersuchung erfolgte nicht, wie bei den in der Literatur angegebenen Versuchen, — mit Ausnahme von Th. Schlösing fils — nach der von v. Pettenkofer angewandten Methode, sondern nach einem Verfahren, welches dem von Th. Schlösing[1] ähnelte. Schlösing trieb einen, in eine konische Spitze von sehr geringem

1) Comptes rendus. T. CIX, p. 618 und 673.

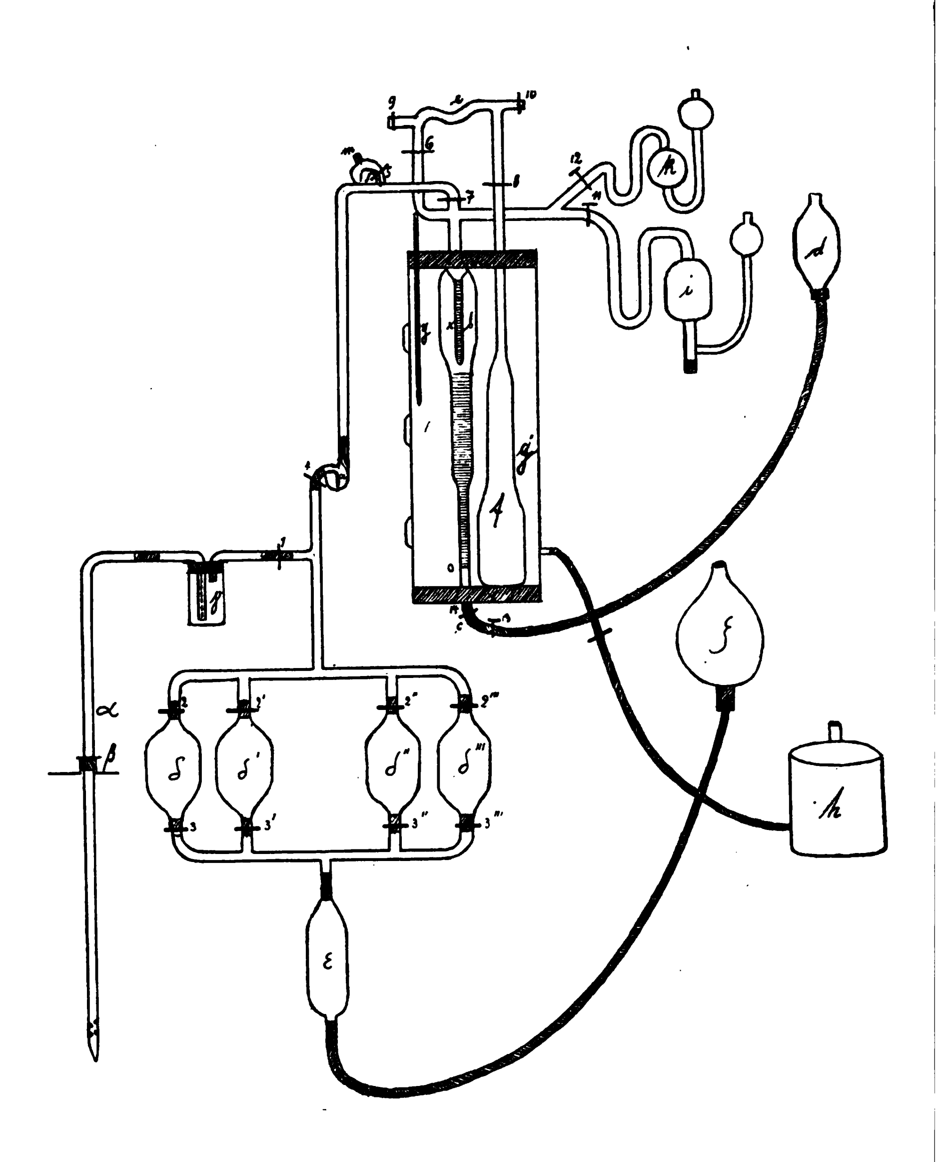
Durchmesser verlaufenden stählernen Schaft in den Boden; er aspirierte die Bodenluft mittelst eines Quecksilberabflusses und analysierte eudiometrisch kleine Proben des gesammelten Gases.

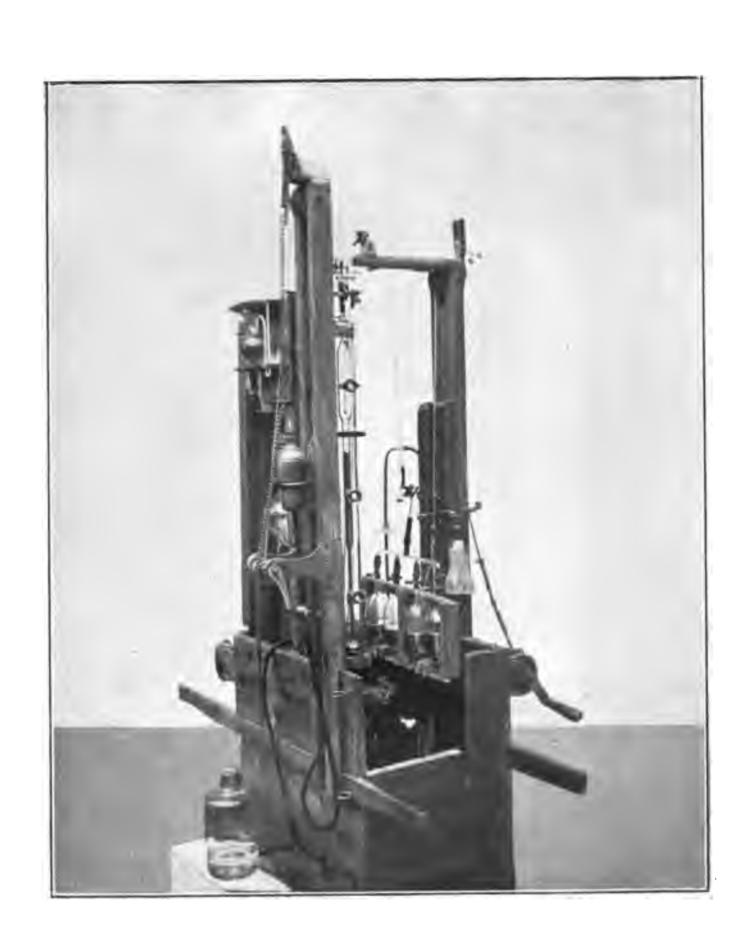
Die Analysen verschiedener an einer und derselben Stelle entnommenen Proben ergaben übereinstimmende Resultate, ein Beweis dafür, dass die angewandte Methode geeignet ist, die vollständige Extraktion der vom Boden eingeschlossenen Luft zu bewirken.

Es möge nun die Beschreibung des zu der Untersuchung angewandten Apparates folgen.

Der Apparat besteht aus zwei Hauptteilen I und II. Der eine diente zum Entnehmen und Aufbewahren der Bodenluft, der andere zur Bestimmung der Kohlensäure und des Sauerstoffes.

Hauptteil I: Das in die Erde einzuführende englumige Metallrohr α läuft am unteren Ende konisch zu und ist dicht an der Spitze rundum mit kleinen Löchern versehen. Um beim Aspirieren ein Eindringen der atmosphärischen Luft längs des Rohres zu verhindern, wird um das Rohr die Erde etwas angedrückt und dann eine tubulierte Glasplatte β, mit dem Rohre durch einen Gummistopfen verbunden, fest auf den Erdboden gedrückt und mit Erde bedeckt. Oben ist das Rohr gebogen und vermittels eines englumigen Druckschlauches mit einem nach Art der Spritzflaschen konstruierten, fast ganz mit Schwefelsäure und körnigem Glase gefüllten Glasgefässe γ verbunden. Letzteres steht,


α
β
δ
δ'
δ''
δ'''
ε
d
i
h



ebenfalls mit Druckschlauch mittels kombinierter Rohre mit vier ovalen Glasgefässen δ, δ', δ'', δ''' in Verbindung, die nun nach unten in gleicher Weise mit einem Glasgefässe ε und dem Quecksilberhebegefässe ζ verbunden sind.

I steht mit dem Hauptteile II, resp. mit der Bürette b, und der Aussenluft im Zusammenhange. Zwischengeschaltet ist ein wiederum nach Art einer Spritzflasche eingerichtetes ganz kleines mit Wasser und Glaswolle gefülltes Gläschen a.

II besteht zuerst aus der Bürette b von 100 ccm Inhalt, welche aus drei verschieden weiten Röhren angefertigt ist, von denen die oberste, weiteste, nicht graduierte am oberen Ende ein an drei Glasfüsschen hängendes Thermometer x mit $^1/_5$ Gradeinteilung trägt, die mittlere 20 ccm fasst und in $^1/_{10}$ ccm, die unterste engste 5 ccm enthält und in $^1/_{50}$ ccm eingeteilt ist.

Unterhalb des Nullstriches verdickt und erweitert sich das unterste Skalenrohr stark und ist durch ein starkwandiges weitlumiges Schlauchstück c mit einem Glashahn verbunden, der nun wieder mit dem Quecksilberhebegefäss d in Verbindung steht. Die Bürette ist mittelst des Differentialmanometers e mit dem Kompensator f verbunden, einem wie die Bürette gestalteten nicht graduierten Glasrohre, dessen engster Teil jedoch nach oben steht. Bei der Analyse selbst ist die Bürette von dem Kompensator durch einen gefärbten Tropfen Petroleum im Manometer getrennt.

Die Bürette und der Kompensator sind von dem Glaskühler g umschlossen, der durch einen Gummischlauch aus der Flasche h mit Wasser gefüllt wird. Im Kühler befindet sich ein Thermometer y, dessen Quecksilberkugel mit der des Thermometers **x** in der Bürette in gleicher Höhe steht. Die Bürette steht nun weiter durch ein T Rohr mit zwei Hempel'schen Gaspipetten in Zusammenhang, von denen die eine **i** mit Kalilauge zur Absorption der Kohlensäure, die andere **k** mit Phosphorstäbchen und Wasser gefüllt zur Absorption des Sauerstoffes dient. Der Abschluss der Pipetten gegen die Bürette geschieht durch Glashähne.

Schliesslich ist die Bürette noch mit der Aussenluft verbunden und dient dazu dasselbe T Rohr m, welches auch die Verbindung des Hauptteiles I mit der Atmosphäre bewerkstelligt.

Hinzuzufügen ist noch, dass sämtliche Glasröhren und T Rohre aus engen Kapillaren gefertigt sind.

Der Gang bei der Ausführung der Untersuchung ist nun folgender:

Durch Heben der mit Quecksilber gefüllten Kugel ζ werden bei geöffneten Klemmschrauben 2, 2′, 2″, 2‴, 3, 3′, 3″, 3‴, 4 und 5 und geschlossener 1 die Glasgefässe ε und δ, δ', δ'', δ''' mit Quecksilber gefüllt; die Luft aus ihnen geht durch a und entweicht durch m. Das Rohr α wird nun in den Boden gesteckt, die Glasplatte β, wie bereits angegeben, auf den Boden gedrückt und mit Erde bedeckt, und darauf sämtliche Klemmschrauben an den Glasgefässen bis auf 2 und 3 geschlossen.

Darauf wird 4 geschlossen, ζ gesenkt und 1 geöffnet. Das Quecksilber sinkt in δ in dem Masse, wie Luft aus dem Boden nach Passieren der mit Schwefelsäure und gekörntem Glase beschickten Flasche γ, eintritt. Das Glasgefäss δ wird geschlossen, wenn sich noch etwas Quecksilber in seinem unteren Halse befindet. Durch die Schwefelsäure wird die Luft von Feuchtigkeit und event. Spuren Ammoniak befreit, das nach Hempel schon in ganz geringen Mengen die Absorption des Sauerstoffes mittels Phosphor behindert. Bei der Luftentnahme werden stets zweimal je 50 ccm Bodenluft als Waschluft zur Entfernung der atmosphärischen Luft benutzt und auf dem bereits beschriebenen Wege wieder entfernt.

Es bedarf wohl nicht der Erwähnung, dass alle Flüssigkeiten, durch welche die Luft geleitet wurde, mit den zu bestimmenden Gasen gesättigt waren. Für die jeweilige Temperatur wurde die Sättigung durch die Waschluft herbeigeführt. Die anderen Glasgefässe werden wie δ gefüllt.

Der Apparat wird darauf in einen Raum mit einer Temperatur von ungefähr 20° C gebracht — die Absorption des Sauerstoffes durch Phorphor verläuft bei 20° C normal, unter 15° C schon sehr langsam — und einige Zeit stehen gelassen, bis alle Teile die Temperatur der Umgebung angenommen haben.

Dann wird die entnommene Luft analysiert.

Zu dem Zwecke wird bei geschlossenen Hähnen 11 und 12 die Bürette b durch Heben des Quecksilbergefässes d mit Quecksilber gefüllt, darauf die

Klemmschrauben 1, 5 und 6 geschlossen, 2, 3 und 4 nach Heben der Kugel c geöffnet und die Kugel d gesenkt, wobei die Luft aus d in die Bürette b hinübergedrückt und gezogen wird. Beim Passieren des Gefässes a sättigt sich die Luft mit Wasser. Die ersten Kubikzentimeter dienen als Waschluft und werden entfernt.

Man füllt die Bürette mit etwa 105 ccm Luft, schliesst dann die Klemmschraube 4, öffnet 5 und stellt das Quecksilberniveau auf den Nullstrich ein. Die Klemmschrauben 7, 9, 10 und der Hahn 13 werden geschlossen, 6 und 8 geöffnet, mit der Klemmschraube 14 der Quecksilbermeniskus mittels Lupe genau auf 0 gebracht, und die Stellung des Tropfens im Differentialmanometer e genau durch einen Strich bezeichnet. Nun wird Klemmschraube 6 geschlossen, die Hähne 11 und 13 geöffnet, und durch Heben der Kugel d die Luft in die Pipette i, welche mit Kalilauge gefüllt ist, hinübergeführt. Nach einigen Minuten ist die Kohlensäure absorbiert, die Luft wird durch Senken der Kugel d wieder in die Bürette zurückgebracht, — die Prozedur wird so häufig wiederholt, bis die Luft nicht mehr abnimmt — die Kalilauge in der Kapillare der Pipette genau auf den früheren Stand gebracht und der Hahn 11 geschlossen. Darauf schliesst man den Hahn 13, öffnet vorsichtig die Klemmschraube 6 und bringt mit Klemmschraube 14 den Tropfen im Differentialmanometer genau in die anfangs bezeichnete Lage.

Die Volumenverminderung der Luft wird an der Skala abgelesen und gibt ohne Korrektion gleich in

Prozenten die in der Luft vorhandene Kohlensäure.

Das Differentialmanometer, Prinzip Pettersson-Palmquist,[1] dient bei der Operation als Indikator. Man ist durch ihn stets imstande, die Luft in b (Bürette) auf denselben Druck, der im Kompensator herrscht, zurückzuführen. Da die Luft im Kompensator sowie auch in der Bürette vom Anfange des Experimentes von der äusseren Luft abgeschlossen ist — durch Schliessen der Klemmschrauben 7, 9 und 10 — sind etwaige Schwankungen in dem äusseren Luftdrucke ohne Einfluss, ebenso wie Temperaturveränderungen, welche sich dadurch ausgleichen, dass sie in derselben Weise auf die Spannung der Luft in b und f einwirken, wenn das Wasser im Kühler g ordentlich gemischt wird. Letzteres wird dadurch bewirkt, dass man das Wasser aus dem Kühler mittels eines Gummischlauches in die Flasche h zurückgibt, dort gut durchschüttelt und wieder in den Kühler zurückfliessen lässt, bis die Temperatur im Kühler mit der in der Bürette übereinstimmt. Die Temperaturen werden der Genauigkeit wegen mit einer am Kühler befestigten Lupe abgelesen.

Nach der Bestimmung der Kohlensäure wird dann in derselben Luft nach der Lindemannschen Phosphorabsorptionsmethode der Sauerstoff bestimmt, indem man den Hahn 12 öffnet und die Luft in die mit Phosphorstäbchen und Wasser gefüllte Pipette k hinüberbringt.

---

1) „Luftanalyse nach einem neuen Prinzipe," Zeitschrift f. analyt. Chemie, 25, 467—478.

Der weitere Gang ist genau derselbe, wie der bei der Bestimmung der Kohlensäure beschriebene.

Die zur Prüfung der Genauigkeit des Apparates angestellten Analysen gaben mit getrockneter atmosphärischer Luft, fern von Gebäuden in über Manneshöhe genommen, 0,03 Vol. Proz. Kohlensäure und 21 Vol. Proz. Sauerstoff, während von Kohlensäure durch Natronkalk befreite Luft keine Verminderung erlitt.

Der Apparat war somit für die auszuführenden Analysen geeignet.

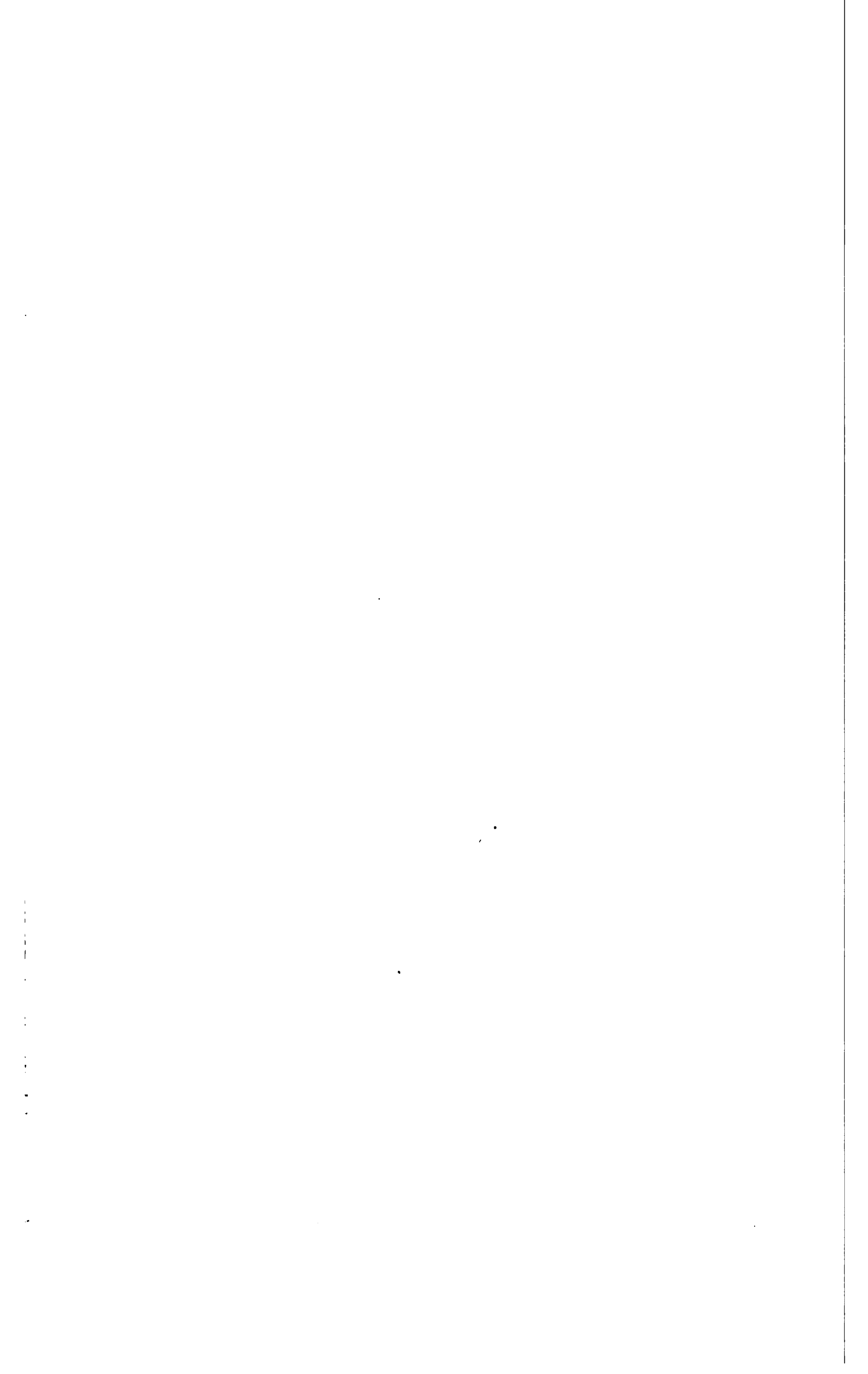
Das Hauptaugenmerk war stets darauf zu richten, dass der Apparat absolut luftdicht schloss. Vor jeder Operation wurde er darauf folgendermassen geprüft:

Nach Füllung der Bürette mit Quecksilber wurden die beiden Verschlüsse nach den Absorptionsgefässen, die beiden Verbindungen nach aussen hin, — das Rohr und das T Rohr m — und das Hebegefäss ζ geschlossen. Darauf wurde das Hebegefäss d gesenkt. Der Apparat war dicht, wenn das Niveau der Quecksilbersäule in der Bürette über dem Niveau der Quecksilbersäule im Hebegefäss in der gleich von vornherein eingenommenen Höhe längere Zeit stehen blieb und sich nicht mit ihm horizontal einstellte.

Tabelle A.

Gehalt der Luft an Kohlensäure und Sauerstoff in Kulturböden.

Monat	Tag	Sandboden						Lehmboden						Moorboden					
		15 cm		30 cm		60 cm		15 cm		30 cm		60 cm		15 cm		30 cm		60 cm	
		CO_2	O	CO_2	O	CO_2	O	CO_2	O	CO_2	O	CO_2	O	CO_2	O	CO_2	O	CO_2	O
April	18	0.06	20.90	0.09	20.70	0.27	20.45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
entnommen	19	—	—	—	—		—	0.07	20.75	0.09	20 80	0.33	20.10	—	—	—	—	—	—
von 11—4	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.28	20.65	0.42	20.40	1.52	19.30
	27	0.08	20.80	0.12	20.55	0.28	20,40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	28	—	—	—	—	—	—	0.09	20,60	0.11	20.75	0.38	20.10	—	—	—	—	—	—
	29	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.35	20.50	0.51	20.25	1.56	19.35
Mai	12	0.14	20.80	0.17	20.50	0.34	20.10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	13	—	—	—	—	—	—	0.15	20.63	0.26	20.32	0.47	20.42	—	—	—	—	—	—
	14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.46	20.30	0.75	19.80	1.84	18.70
Juni	20	0.18	20.80	0.26	20.45	0.50	19.45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
entnommen	21	—	—	—	—	—	—	0.22	20.80	0.39	20.65	0.81	20.03	—	—	—	—	—	—
von 1—3	22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.69	20.45	0 84	19.50	2.10	17.85
Juli	15	0.22	20.65	0.37	20.60	0.69	19.13	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	16	—	—	—	—	—	—	0.31	20.75	0.55	20.00	1.20	19.40	—	—	—	—	—	—
	17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.81	19.80	1.13	19.75	3.64	16.60
August	18	0.18	20.75	0.30	20.63	0.53	19.05	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	19	—	—	—	—	—	—	0.29	20.63	0.48	20.50	1.38	19.25	—	—	—	—	—	—
	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.76	20.00	1.40	19.20	4 37	16.00
September	19	0.11	20.90	0.20	20.75	0.31	20.40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	20	—	—	—	—	—	—	0.18	20.70	0.32	20.45	0.95	19.80	—	—	—	—	—	—
	21	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.65	20.05	1.24	19.15	3.02	17.15
Oktober	19	0.08	21.00	0.14	20.82	0.23	20.62	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	20	—	—	—	—	—	—	0.13	20.60	0.26	20.75	0.59	20.43	—	—	—	—	—	—
	21	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.42	20.60	0.77	20.40	2.60	17.70
November	21	0.07	20.82	0.08	20.60	0 15	20.70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	22	—	—	—	—	—	—	0.06	20.85	0.12	20.63	0.36	20.50	—	—	—	—	—	—
	23	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.21	20.65	0.52	20.20	2.33	18.00
)ezember	19	0.08	21.00	0.06	20.85	0.12	20.80	—	—	—	—	—	—	—		—	—	—	—
	20	—	—	—	—	—	—	0.05	21.00	0.10	20.90	0.23	20.85	—					



c. Ergebnisse und Folgerungen:

Tabelle A: Die Bodenluft in dem Sand-, Lehm- und Moorboden.

I. Die Jahreszeiten haben einen grossen Einfluss auf den Kohlensäuregehalt der Bodenluft. Derselbe ist im Sommer am höchsten, dann folgt der Herbst, Frühling und schliesslich der Winter.

Das Maximum ist im Juli und August, das Minimum im Februar.

Der Grund liegt wohl darin,

1. dass in kälterer Jahreszeit die Zersetzung der organischen Stoffe herabgemindert ist;
2. dass durch das fortwährende starke Schwanken des Luftdruckes die kohlensäurereichere Luft des Bodens gleichsam ausgewaschen wird;
3. dass der Boden in kalter Jahreszeit besser ventiliert wird, da die atmosphärische kalte schwere Luft die wärmere leichtere, in den Poren des Bodens befindliche, verdrängt;
4. dass der Boden beim Abkühlen direkt Luft einsaugen muss, weil die Zusammenziehung der Luft ganz bedeutend, während die der Bodenpartikelchen nur minimal ist.

II. Der Sauerstoff nimmt in dem Masse ab, als die Kohlensäure steigt.

Der Grund liegt in der Entstehung der Kohlensäure aus organischer Substanz plus Sauerstoff (Verwesung).

III. Der Gehalt der Bodenluft an Kohlensäure nimmt mit der Tiefe zu, der des Sauerstoffes ab.

Der Grund hierfür ist die bessere Durchlüftung der oberen Schichten, speziell in Kulturböden durch mechanische Auflockerung. Das Gas findet beim Aufsteigen in den oberen Schichten einen geringeren Widerstand, als in den tieferen.

Wahrscheinlich kommt auch der Druck der grösseren Erdmassen und die grössere Wärme einer stärkeren Zersetzung organischer Substanzen zu statten.

IV. Von den drei Bodenarten ist der Sandboden am kohlensäureärmsten, hierauf folgt der Lehm-, am reichsten ist der Moorboden.

Begründung: Der Luftaustausch erfolgt in grobkörnigen Bodenarten mit grösserem Porenvolumen — Sand — leichter als im feinkörnigen Lehm- und Moorboden.

Infolgedessen ist die Verwesung der organischen Stoffe im Sande auch erfahrungsgemäss sehr rasch und intensiv, während sie im Lehm- und Moorboden langsam aber stetig fortschreitet.

Der hohe Gehalt des Moorbodens an Kohlensäure wird ausserdem durch seinen Reichtum an organischen Stoffen bedingt.

Tabelle B.

Gehalt der Luft an Kohlensäure und Sauerstoff in einem Sandboden 13—15 cm tief, mit organischen Stoffen nie gedüngt, bepflanzt mit

Monat	Tag	Stunde	Kartoffeln CO_2	Kartoffeln O	Gerste CO_2	Gerste O	Peluschken CO_2	Peluschken O	Seradella† CO_2	Seradella† O	Hafer CO_2	Hafer O	Kartoffeln CO_2	Kartoffeln O	Lupinen CO_2	Lupinen O	Bemerkungen
Mai	6	11—4 nachm.	0.14	20.85	0.12	20.70	0.15	20 80	0.12	20.90	—	—	—	—	—	—	† Die Seradella-Parzelle nahm ich als Ver-
	9		—	—	—	—	—	—	—	—	0.16	20.80	0.15	20.70	0.17	20.75	
nicht im Gegensatz	Gesammtmittel		0.320	20.62	0.203	20 64	0.225	20.65	0.166	20.74	0 224	20.63	0.400	20.53	0.430	20.62	Luftproben entnommen im Durchschnitt um 2 Uhr nachmittags aus 13—15 cm.
	Vegetationsmittel		0.330	20.59	0.220	20.57	0.250	20.60	„	„	0.240	20.60	0.420	20 50	0.540	20.52	
(Mittel, gezogen aus den Analysen der Luftproben, welche während der Vegetationsdauer der einzelnen Pflanzen entnommenwaren)																	
Mittel:	0.375	20.57	0.375	20.53	0.260	20.40	0.310	20.65	0.160	20.80	0.240	20.65	0.527	20.42	0.750	20.45	nachmittags (1—3 Uhr)
	0.308	20.71	0.335	20.75	0.220	20.60	0.280	20.60	0.143	20.83	0.215	20.90	0.383	20.65	0 580	20.63	morgens (2—4 Uhr)

Tabelle **B** (mit Stalldung nie gedüngt) im Gegensatz zu Tabelle **C** (mit Stalldung stets gedüngt).

CO_2	O		Kartoffeln CO_2	Kartoffeln O	Gerste CO_2	Gerste O	Peluschken CO_2	Peluschken O	Seradella CO_2	Seradella O	Hafer CO_2	Hafer O	Kartoffeln CO_2	Kartoffeln O	Lupinen CO_2	Lupinen O	
0 281	20.63	mit Stalldung ungedüngt	0.320	20.62	0.203	20.64	0.225	20.65	0.166	20.74	0 224	20.63	0.400	20.53	0.430	20.62	Gesammtmittel
0.367	20.52	mit Stalldung gedüngt	0.540	20.26	0.280	20.60	0.253	20.62	0.180	20.73	0 260	20.61	0.610	20.33	0.447	20.50	
0.309	20.59	mit Stalldung ungedüngt	0.330	20.59	0.220	20.57	0 250	20.60	0.166	20.74	0.240	20 60	0.420	20.50	0.540	20.52	Vegetationsmittel
0.396	20.50	mit Stalldung gedüngt	0.570	20.22	0.290	20.62	0.264	20.61	0.180	20.73	0,274	20.67	0.647	20,29	0.551	20.38	

Tabelle B. Die Bodenluft in dem mit organischen Stoffen nie gedüngten, mit Pflanzen bestandenen Sandboden.

I. Die Bodenluft der mit Pflanzen bestandenen Parzellen hat in 18—15 Zentimeter Tiefe — Wurzelregion — einen höheren Gehalt an Kohlensäure und einen geringeren an Sauerstoff, als die des unbepflanzten.

Da nach Wollny, wie in der Einleitung angeführt, die Luft in einem brachliegenden Boden mehr Kohlensäure hat, als die unter der Wurzelschicht eines mit Pflanzen beschatteten Landes, weil die Intensität der Verwesung durch lebende Decken herabgemindert wird, so kann der höhere Gehalt an Kohlensäure nur durch die Atmung der Pflanzenwurzeln herbeigeführt worden sein.

Ebenso erklärt sich die Abnahme des Sauerstoffes. Er wird bei der Atmung der Wurzeln verbraucht.

Hinzu mag noch kommen, dass die unbepflanzte Parzelle mehr den äusseren Einwirkungen der Witterung, z. B. der aspirierenden Wirkung des Windes ausgesetzt ist, also in den oberen Regionen besser durchlüftet wird, während auf den bepflanzten Parzellen der Wind durch die Pflanzen mehr oder weniger gebrochen wird.

II. Der Gehalt der Bodenluft an Kohlensäure nimmt mit der höheren Entwickelung der Pflanzen und mit steigender Temperatur zu, während der Sauerstoffgehalt sich verringert.

Die Erklärung hierfür ergibt sich von selbst.

An der Pflanze vermehren und verlängern sich die Wurzeln, und dementsprechend wird mehr Kohlensäure produziert. Die Produktion erreicht ihren Höhepunkt bei dem höchsten Stande der Entwickelung und der günstigsten Wärme, da ja bei höherer Temperatur, gesetzt, dass das Optimum nicht überschritten ist, die Atmung stärker wird.

Mit in Rechnung zu ziehen ist noch bei warmer Witterung die intensivere Zersetzung der organischen Substanzen — Wurzeln von Pflanzen aus den vergangenen Jahren.

III. Aus dem vorigen ergibt sich auch die Erklärung für das Ergebnis, dass intensiv atmende Pflanzen mit stark entwickelten unterirdischen Organen den Kohlensäuregehalt der Bodenluft vermehren.

So steht der hohe Gehalt der Luft an Kohlensäure in dem mit Lupinen und Kartoffeln bepflanzten Boden im starken Gegensatze zu dem mit Halmgewächsen — Gerste, Hafer — bestandenen, ein Umstand, der vielleicht die Tatsache erklärt, dass erstere gut und sogar besser auf leichtem als auf schwerem Boden gedeihen, während letztere den schweren Boden vorziehen und sogar benötigen.

Der Grund mag darin liegen, dass durch den hohen Gehalt an Kohlensäure eine starke Aufschliessung des Bodens zustande kommt, — (Ernährung) wegen der leichten Durchlüftbarkeit des Sandbodens aber ein zu hoher Gehalt an Kohlensäure vermieden wird, der, wie Saussure,

Boehm und Jentys nachgewiesen haben, bedeutend verzögernd auf das Wachstum der Pflanzen wirkt.

IV. Die Tages- und Nachttemperaturen haben einen Einfluss auf den Gehalt der Bodenluft an Kohlensäure und Sauerstoff, und zwar findet morgens eine Abnahme der Kohlensäure und Zunahme von Sauerstoff statt.

Begründung: 1. In kalten Sommernächten, wo die Atmosphäre kälter und schwerer ist als die Bodenluft, findet ein lebhafter Luftwechsel statt, da die kalte, schwere Luft die leichte warme aus dem Boden verdrängt.

2. Die Atmung der Pflanzsn ist bei niederer Temperatur schwächer.

Tabelle C: Die Bodenluft in dem mit organischen Stoffen gedüngten Sandboden.

Aus der Tabelle C lassen sich dieselben Ergebnisse wie aus Tabelle B ziehen.

Im Vergleiche mit Tabelle B fällt ins Auge, dass ein an organischen Stoffen reicherer Boden — in erster Linie die Parzellen mit Kartoffeln — einen höheren Gehalt an Kohlensäure und niederen an Sauerstoff aufweist.

Doch dürfte dieses Resultat dahin zu modifizieren sein, dass der Boden dieselbe Struktur und Dichtigkeit besässe.

Grund: 1. Die beträchtlichere Oxydation der organischen Stoffe zu Kohlensäure.

2. Der höhere Gehalt an Kohlensäure findet auch darin seine Erklärung, dass auf dem stets mit organischen Stoffen gedüngten Boden — Versuchsreihe D — der Stand der Pflanzen kräftiger war, — mit Ausnahme der Lupinen — wodurch eine stärkere Atmung stattfand und die Einwirkung der Witterung abgeschwächt wurde.

Für die beiden letzten Gründe spricht auch die Kohlensäuremenge der Bodenluft aus den Lupinenparzellen.

Sie ist in der aus D entnommenen Luft, trotzdem D im vergangenen Jahre Stalldüng bekommen hatte, nur wenig grösser, als in der aus C geschöpften.

Auch dürfte hier die Beschattung durch die Lupinenpflanzen die Erwärmung und Zersetzung der organischen Substanz herabmindern.

Tabelle C.

Gehalt der Luft an Kohlensäure und Sauerstoff in einem Sandboden 13—15 cm tief, mit organischen Stoffen stets gedüngt, bepflanzt mit

Monat	Tag	Stunde	* Kartoffeln		Gerste		Peluschken		Seradella †		Hafer		* Kartoffeln		Lupinen		Bemerkungen
			CO_2	O	CO_2	O	CO_2	O	CO_2	O	CO_2	O	CO_2	O	CO_2	O	
Mai	7	11—4 nachm.	0.24	20.45	0 16	20.65	0.15	20.80	0.17	20.70	—	—	—	—	—	—.	† Seradellaparzelle, wie in Tabelle B angegeben.
„	10	„	—	—	—	—	—	—	—	—	0.19	20.80	0,32	20.60	0.21	20 50	
	17		0.28	20.60	0.16	20.70	0.14	20.80	0.10	20.80	—	—	—	—	—	—	

der Tabelle C (stets gedüngt).			CO_2	O	CO_2	O	CO_2	O	CO_2	O	CO_2	O	CO_2	O	CO_2	O	
nicht im Gegensatz	Gesamtmittel		0.540	20.26	0.280	20 60	0.253	20.62	0.180	20.73	0.260	20 61	0.610	20.33	0.447	20.50	
	Vegetationsmittel		0.570	20 22	0.290	20.62	0.264	20.61	„	„	0.274	20.67	0.647	20 29	0.551	20.38	
Mittel:	0.469	20.49	0.665	20.18	0 360	20.75	0.320	20.60	0.190	20.83	0.250	20.60	0.747	20.18	0.750	20.32	nachmittags (1—3 Uhr)
	0.362	20 72	0.470	20.67	0.270	20.80	0.250	20.75	0.170	20.87	0.230	20.90	0.563	20.48	0.580	20.55	morgens (2—4 Uhr)

Lu

zeig
Bod
ders
säu

obe
ach
an
de
au
in
gr
ar
ja

s
d
r

Luftproben aus einer Tiefe von 30 Zentimetern zeigen, dass der Gehalt an Kohlensäure im bepflanzten Boden unter der Wurzelschicht geringer ist als in derselben, während im nackten Boden der Kohlensäuregehalt mit der Tiefe zunimmt.

Dieses Ergebnis ist zuerst eine Bestätigung der oben erwähnten, von Wollny gemachten Beobachtung, zweitens beweist es, dass der höhere Gehalt an Kohlensäure in der Wurzelschicht durch Atmung der Pflanzen entsteht, und drittens kann man daraus ersehen, dass die Bewegung der Kohlensäure in der Erde nach der Tiefe zu sich bei nicht zu grossen Luftdruckschwankungen schwer vollzieht; andernfalls müsste eine Mischung eintreten, wie sie ja in der Atmosphäre so grossartig zustande kommt.

Die Einwirkung anderer Faktoren auf die Zusammensetzung der Bodenluft, wie Fallen und Steigen des Luftdruckes, Wind, ist mit Bestimmtheit nicht nachzuweisen.

Grund: Die Menge der Kohlensäure in der Vergleichsparzelle ist hierfür zu gering; in den bepflanzten Parzellen werden sie durch die Pflanzen, sei es durch ihre höhere Entwickelung und damit bedingte stärkere Atmung, sei es durch den Schutz, den sie dem Boden verleihen, aufgehoben.

Ein Nachweis über den Einfluss der Feuchtigkeit auf den Kohlensäuregehalt der Bodenluft ist deshalb nicht zu führen, weil während der höheren Entwickelung der Pflanzen ein Regen, der den Sand fünfzehn Zentimeter durchfeuchtete, ausblieb.

Wollny, Möller haben nach Zufuhr von Wasser eine Steigerung der Kohlensäure nachgewiesen. Dr. Mitscherlich gibt dafür in seinem Buche „Bodenkunde für Land- und Forstwirte, 1905, Verlag von Paul Parey Berlin“ folgende Gründe an: „Durch Wasserzufuhr kann die Oxydation der Humussubstanzen schneller vor sich gegangen sein; es kann dies aber ebenfalls darin seinen Grund haben, dass die Kohlensäure in der Bodenluft nicht so schnell durch den Sauerstoff der Luft ersetzt wurde, was schliesslich zur Folge haben kann, dass die Verwesung wegen mangelnden Sauerstoffes ganz aufhört, dies gerade in dem Falle, wo die Bodenluft statt des gesamten Sauerstoffes Kohlensäure enthalten würde, mithin an dieser ausserordentlich reich ist“.

Bei stärkerem Regen dürfte jedoch wohl ganz mechanisch eine grössere Zufuhr von Luft in die oberen Schichten des Erdbodens gelangen; ebenso dürfte, entsprechend der Wasserverdunstung, atmosphärische Luft in den Boden eintreten.

Zum Schlusse ist noch hervorzuheben, dass auf die Zusammensetzung der Bodenluft, ausser der Verwesung der organischen Stoffe und der Atmung der Planzenwurzeln, sicher noch andere chemische Vorgänge, wie der Lebensprozess niederer Organismen, die Zersetzung der Carbonate von Einfluss sind, und solange die nicht völlig aufgeklärt sind, wird man zu keinen exakten Resultaten gelangen können.

III.

Das Ergebnis sämtlicher Untersuchungen lässt sich kurz in folgenden Sätzen formulieren:

Tabelle A. 1. Die Bodenluft ist im Sommer am kohlensäurereichsten, ihm folgt der Herbst, dann der Frühling und zuletzt der Winter.

2. Das Maximum fällt in die Monate Juli und August, das Minimum in den Februar.

3. Die Bodenluft nimmt mit der Tiefe an ihrem Kohlensäuregehalte zu.

4. Die Bodenluft ist im Sandboden am ärmsten an Kohlensäure, dann kommt die des Lehmbodens; am reichsten ist die des Moorbodens.

5. Die Bodenluft wird in dem Masse sauerstoffärmer, als sie kohlensäurereicher wird.

Tabelle B und C. 1. Die Bodenluft ist im mit Pflanzen bestandenen Acker zwischen den Wurzeln derselben reicher an Kohlensäure als im unbepflanzten in derselben Tiefe.

2. Die Bodenluft ist in der Wurzelregion der Pflanzen kohlensäurereicher als unter der Wurzelschicht.

3. Die Bodenluft nimmt bei höherer Entwickelung der Pflanzen und steigender Temperatur an Kohlensäure zu.

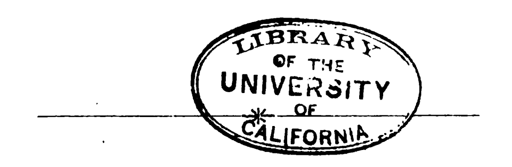
4. Die Bodenluft ist in den mit intensiv atmenden Pflanzen, wie Kartoffeln und Lupinen, bestandenen Parzellen reicher an Kohlensäure als in den mit schwach atmenden, wie Hafer, Gerste.

5. Die Bodenluft ist um zwei Uhr nachts ärmer an Kohlensäure als um zwei Uhr mittags.

6. Die Bodenluft ist in dem mit organischen Stoffen gedüngten Sandboden reicher an Kohlensäure als in dem ungedüngten.

7. Die Bodenluft in der ungedüngten Lupinenparzelle ist nur wenig ärmer an Kohlensäure als die in der gedüngten.

8. Das Verhältnis zwischen der Kohlensäure und dem Sauerstoffe der Bodenluft ist dasselbe, wie oben erwähnt. Die Bodenluft wird also in dem Masse sauerstoffärmer als sie kohlensäurereicher wird.



Diese Arbeit ist auf Anregung und unter Leitung des Herrn Geh. Ökonomierats Prof. Dr. Heinrich an der landwirtschaftlichen Versuchsstation Rostock ausgeführt worden.

Es sei mir gestattet, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Geh. Ökonomierat Professor Dr. Heinrich, für die mir in liebenswürdigster Weise gewährte Unterstützung meinen aufrichtigsten Dank auszusprechen.